

Hasarlı polietilen AFO ortezin onarımı ve kullanılabilirliği

Ergun ATEŞ*

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

Özet

Ortopedik özürllüler doğuştan veya herhangi bir hastalık ya da kaza sonucu iskelet, kas ve sinir sisteminde arıza meydana gelmesi ve buna bağlı olarak normal yaşam ve aktivitelerini gerçekleştiremeyecek derecede fiziksel yetersizliğe sahip olan kişilerdir. Ortez özürllülerin yaşamlarını yeterli şekilde sürdürebilmeleri amacıyla kullanmakta oldukları cihazlardan birisidir ve özürllü organa göre şekillendirilebilir. AFO ortezler özellikle bilek bölgesinin iki yanında zamanla çatlak oluşumu ve devamında başlangıcı bu noktalar olan kırılma sonucu kullanılamaz hale gelmektedirler. Çalışmada böyle bir hasarın onarılabilmesi için öncelikle aynı malzemedan farklı iki tabakanın ve iki tabaka arasına takviye elemanı cam elyaf lifleri yerleştirilmiş hallerinde, ısıtıl işlem uygulanması, içyapı görüntüleri alınarak yapının tek parça halinde birleştirilebilirliği incelendi. İlave olarak çekme deneyleri yapılarak birleştirilmiş yapıların dayanımları belirlendi. Polietilen tabakalara endirekt ısı uygulanması, artan sıcaklıkla malzemenin alev almadan tam şeffaflaşp peltemsi hale geldiğinde, tabakalar arasına belirli oranda elyaf lifin takviye olarak serilmesi, bu andan itibaren oda sıcaklığında soğumaya kadar baskı uygulanması yapılan işlemlerdir. Polietilen plakaların bu uygulamalar neticesi, en iyi içyapı oluşumuyla birlikte çekme dayanımı yüksek yapılar olarak birleştirilebildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AFO Ortez, Polietilen, Mekanik ve ısıtıl özellikler.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ergun ATEŞ. ergunates@gmail.com; Tel: (266) 612 11 94.

Makale metni 22.11.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 26.05.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Repair and usability of damaged polyethylene AFO orthosis

Extended abstract

Polyethylene is a widely used orthosis material which fits best for the foot movements of people. The aim of the study is to repair a damaged polyethylene AFO orthosis firstly and then to expand its endurance period. To this end, changes observed in polyethylene material when exposed to heat have been analyzed. The procedure of combining a two-layer polyethylene material into one layer polyethylene has been performed in the study. Polyethylene material has been exposed to direct flame for heating purposes in Phase I and partially in Phase 2. Throughout the heating process, gradual transparency and deflagration has been observed with the heat increase in the material which was dull white under room temperature. Transparency is an important phase and occurs before degradation phase. At this point, the material is in a “molten jellylike” form and combination is possible without any loss in the structure. However, it is quite difficult to control transparency moment in this and other phases of direct heat application. In indirect heat application, as applied to polyethylene material in Phase II and III, time between initial heating-transparency-degradation phases has been able to be extended. Heat application has revealed more optimal temperature and total time values. Since temperature increases or decreases happen slowly in all phases of indirect heat application, development of combinations with more regular inner structures can be ensured. Literature values have been produced during the heat applications in the scope of the study as well. Temperatures in 210°C - 230°C interval can be suggested as the appropriate temperature values for the targeted indirect heat application, the full transparency in the specified phases and study interval. The temperature which starts deflagration process of the material is 250°C and higher temperatures for indirect heat application. In the scope of the meaning of “transparency” in this sense, we mean performance of combination process by indirect heat application, before the material deflagrates and not after the material loses its transparency and turn into molten form as under the room temperature. Combination via heat application has also been analyzed by placing supportive elements between two polyethylene layers with the aim of increasing the endurance of combined structure. The aim of this

procedure is to examine the damage preventive effects of supportive elements in the orthosis. Internal structure images obtained via optical microscope are in line with the above explained situation. Internal structure images of directly or indirectly heated and dense fiber supported samples have revealed that melting is not at a sufficient level to cover all the fibers in the dense fiber structure and that there are gaps in the contact point of two structures. Internal structure images of the less fibrous samples have shown that fibers are covered by the material and a gap-free structure has been created in such less fibrous structures. It can easily be concluded that a specific ratio should be determined between the main material and the supportive material for supported structures. In the formation of fibrous structure via indirect heat application, the time between 210°C - 230°C interval has been enough for placing supportive elements for the studied dimensions. Said temperature interval can be extended with the help of a sensible and automatically controlled circuit. In this way, a more regular heat application can be ensured, which enables a more regular composition (when compared with fast heat application) of the structures tried to be combined. It has been revealed during the tensile tests conducted in the scope of the study that “unavoidable gaps in the structures combined by using directly or indirectly heated dense fiber negatively affect the tensile strength” and that “more strong combinations can be created with less fibrous and indirectly heated structures since fibers distributed loosely between the layers can be covered by the molten polyethylene material”. Sheet sample in Phase I has been used to enable comparisons between tensile strengths of polyethylene material. By analyzing the tested samples, it has been found out that the fracture observed in a fiber supported sound combination is similar to a fracture in a brittle material. In the light of the data obtained in the experimental study, phases such as the repair of damaged polyethylene orthosis, use of the orthosis in daily life and evaluation of the life cycle of orthosis can be complementary applications of the study. In addition, conduct of bending, pressure and fatigue tests and interpretation of the orthosis model with exhaustion analysis software can enable making of a better evaluation on the material combination through orthosis repair and its subsequent usability.

Keywords: AFO Orthosis, Polyethanol, Mechanical and thermal properties.

Giriş

Dünyada başta ABD ve AB olmak üzere özür- lülerin toplumsal yaşama entegrasyonu amacıyla geliştirilmeleri yönünde çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Ülkemizde de özür- lülere yönelik yasal mevzuat ve uygulamalar ben- zer şekilde devam etmektedir. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ile Türkiye Sakatlar Konfede- rasyonu işbirliğinde Milli Prodüktivite Merkezi tarafından gerçekleştirilen ortez, protez ve teker- lekli sandalyenin üretimi, TSE ‘ye uygun stan- dartlar, ürün kalitesi ve pazar potansiyeli, çalış- maları yapılmaktadır (Artar ve Karabacakoğlu, 2003). Dünya Sağlık Örgütünün tıbbi açıdan yapmış olduğu özürlü tanımı; “Sağlık yalnız hastalık ve özür- lülüğün olmaması değil, aynı zamanda bedensel, ruhsal ve toplumsal yönden tam bir iyilik durumudur. Özür- lülük ise beden- sel, zihinsel ve ruhsal özelliklerinden belirli bir oranda ve sürekli olarak fonksiyon ve görüntü kaybına neden olan organ yokluğu veya bozuk- luğu sonucu kişinin normal yaşam gereklerine uyamama durumudur. Bu durumdaki kişiye özür- lü denilmektedir” (Mutluer, 1997;).

Özür grupları; zihinsel, işitme, konuşma. Gör- me, ortopedik (fiziksel) ve diğer özür- lüler şek- linde sıralanabilir (Mutluer, 1997; Atala, 1996; Erkesim, 1999). Burada fiziksel bir özür olarak kabul edilen ortopedik özür- lülük, kişinin belli bir amaca ulaşabilmesini, çalışabilmesini, akti- vitelerini gerçekleştirebilmesini, fiziksel engel- lemelerden dolayı çevresine uyum sağlayabil- mesini zorlaştıran özür- lülük grubunu oluşturu- maktadır. Ortopedik özür- lülük için, sakat, felçli, kötürüm, yatalak, topal, çolak, düztaban, kam- bur, v.b. birçok değişik terim kullanılmaktadır. Ortopedik özür- lü kişilerdeki bozukluklar: İske- let bozuklukları ve özür- leri, kas bozuklukları ve zayıflıkları, eklem bozuklukları, sinir sistemin- deki bozukluklar ve yetersizlikler ve devimsel bozukluklar ve yetersizlikler şeklindedir. Orto- pedik özür- lü kişilerde birden fazla bozukluk gö- rülebilir ve kendi içinde yürüeyebilen özür- lüler ve tekerlekli sandalyeye bağlı özür- lüler şeklinde sınıflandırılır (Mutluer, 1997; Erkan, 1990; Çağ- lar, 1982). Yürüeyebilen özür- lüler grubunda yar- dıma ihtiyaç duymadan yürüeyebilenler, herhangi bir dayanak veya bastonla yürüeyebilenler ve

koltuk değneğiyle yürüeyebilenler yer almaktadı- r. Tekerlekli sandalyeye bağlı özür- lüler gru- bunda ise; tekerlekli sandalyeye bağımlı olan fakat ara sıra yürüeyebilenler, vücudun üst kıs- mını tümüyle kullanabilenler ve vücudunun hiç- bir bölümünü kullanamayan özür- lüler bulun- maktadır.

Özür- lülüğün nedenleri; doğum öncesi nedenler, doğum sırasındaki nedenler, doğum sonrası ne- denler, diğer nedenler (ev kazaları, iş kazaları, trafik kazaları, savaşlar ve doğal afetler, yakın akraba evlilikleri, ana-çocuk sağlığı ve aile planlamasındaki aksaklıklar, yaşlılık) şeklinde sıralanabilir (Özkeskin, 2000; Karahan, 1998). Burada diğer nedenler grubunda yer alan trafik kazaları tüm dünyada ekonomik, sosyal ve sağ- lık bakımından problemlerin doğmasına neden olmaktadır (Baykoç ve Yılmaz, 1999). Trafik kazaları ölüm veya özür- lülüğün büyük bir kıs- mını oluşturmaktadır. Süratin artması, seyahat kolaylıkları ve kişi başına düşen araç sayısında- ki artış sonucu trafik kazası yaralanmaları fazla- laşmıştır. Deniz, hava ve tren gibi ulaşım tiplerin- in kendine özgü tehlikeleri olmasına rağmen, trafik kazalarında ilk sırayı, kara yolculuğu sıra- sında meydana gelen kazalar almaktadır. Bu ka- zalar da daha çok motorlu taşıtlarda görülmek- tedir. Trafik kazaları sonucu baş yaralanmaları ve birden fazla kırıklar kişinin geçici veya sü- rekli sakat kalmasına sebep olabilmektedir.

Hasarlı ortez, alt ekstremitte ortezlerinden AFO olarak bilinen ayak-ayak bileği ortezi’dir. İnce, yarı esnek plastikten ve genelde polietilenden yapılır (Berker ve Yalçın, 2000). Polipropilen’den yapılmış olanları da vardır. Ortez kullanımıyla karşıt kuvvetler uygulanarak istenen vücut kıs- mlarına pozisyon verilir. Genelde her hasta için ortezler özeldir ve hastanın gövdesi ile ortez anatomik yapıya tam uyum içinde olmalıdır. Ortez kişinin karşılaşılabileceği her türlü koşulda işlevini en iyi şekilde yerine getirirken, ağırlık etkisi altındadır ve mümkün olan en uzun süre bu etkilere dayanabilmelidir.

Materyal ve yöntem

Çalışmada konu olan ortez sahibi 19 yaşında iken geçirdiği motosikletli trafik kazası ile “6

Seviyeli İnternal Fixasyon” (Travmatik L1 Kompresyon Kırığı) oluşması sonucunda, 14 yıldır AFO ortez ve baston kullanarak yürümektedir. AFO ortez ithal polietilenden yapılmış olup yaklaşık 1 yıl süre ile kullanım sonunda bilek bölgesi dış kenarlardan başlayarak içe doğru çatlak oluşumu ile hasara uğrayarak işlevini yapamaz hale gelmiştir. Yerli polietilenden yapılmış diğer bir AFO ortez yine bilek bölgesindeki benzer hasarla daha kısa sürede kullanılamaz hale gelmiştir (Şekil 1a-b) (Kadir, 2007). Bu durumda kişi için, yeni bir ortez imalatı yerine bahsedilen hasarlı afo ortezin onarılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bunun için, özürülük kavramı, özellikle ortopedik özürülük, afo ortezin kullanıcısı için yaşamın bir parçası olması hali, en uygun çözüme ulaşabilmek adına anlaşılmalıdır.



Şekil 1. Polietilen AFO ortez 'de hasar oluşumu (a) ve kırılma(b)

Hasarlı afo ortezin onarılabilmesi amacıyla, malzeme özelliklerinin belirlenmesi, bilek bölgesinde hasar oluşum mekanizmasının anlaşılabilmesi ve buradaki etken yüklerin tespiti için ortezin modellenmesi ve modelin analizinin yapılması, ısı deneyleri, çekme deneyleri ve optik mikroskopla alınan içyapı görüntülerinin incelenmesi, çalışmaları planlandı. Elde edilen verilerle, onarımı hedeflenen yapının dayanımını ve devamında yeniden kullanılabilirliği hakkında bir değerlendirme yapılabilirdi.

Plastikler günümüzde mutfak donatımı ve oyuncak yapımında yoğun kullanımları yanında, birçok alanda metaller ve seramiklerin yerini alabi-

lecek önemli mühendislik malzemeleridir. (Akkurt, 1991). Plastikler sağlam, hafif ve kolay şekillendirilebilirler. Sanayide gıda, sağlık, ulaşım, yalıtım, şişe ve boru imalatı, tekstil gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Petrol endüstrisine dayalı olan plastik sektöründe hızlı gelişme grafit, cam ve karbon elyafı gibi malzemelerle karışım oluşturmuş yeni yapılar daha da önem kazanmıştır. Bu malzemelerin mekanik özellikleri metallerinkine yaklaşıp. Özellikleri geliştirilen plastik malzeme çeşitleri avantajları neticesi diğer mühendislik malzemelerine tercih edilmektedir.

Polietilen malzemeyle yapılmış deneysel bir çalışmada; üretildikten sonra teorik olarak tekrar eritilerek yeniden şekillendirilebilen, günlük hayatta ve endüstride önemli kullanım alanları bulan termoplastiklerden olan polipropilen (PP), alçak (AYPE) ve yüksek yoğunluklu (YYPE) polietilen plastiklerinin mekanik özellikleri belirlenerek bu özelliklerin ultraviyole (UV) ışını ile değişimi araştırılmıştır. UV ışının C-C bağlarını kırması nedeniyle çekme deneyleri sonucunda AYPE ve PP'de daha büyük deformasyonlar gözlenmiştir. Çalışmada UV ışınları etkisinde kalmamış numunelerle yapılmış çekme deneylerinden; sırasıyla akma ve çekme dayanımları (MPa) ile % uzamaları; AYPE için; 821 / 1630 / %478; PP için; 3269 / 3269 / %216; YYPE için; 2288 / 2288 / % 725 olarak elde edilmiştir (Çetinel, 2000).

Polietilen, çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastiktir. İsmi monomer haldeki etilen-den alır, etilen kullanılarak polietilen üretilir ve endüstride PE olarak bilinir. Etilen molekülü C_2H_4 aslında çift bağ ile bağlanmış iki CH_2 'den oluşur. Polietilenin $(CH_2=CH_2)$ üretim şekli, etilenin polimerizasyonu ile olur. Polimerizasyon metodu, radikal polimerizasyon, anyonik polimerizasyon, iyon koordinasyon polimerizasyonu ve katyonik polimerizasyon metotları ile olabilir. Bu metotların her biri farklı tipte polietilen üretimi sağlar. Polietilen yoğunluk ve kimyasal özellikleri baz alınarak çeşitli kategorilerde sınıflanır. Mekanik özellikleri, moleküler ağırlığı, kristal yapısı ve dallanma tipine bağlıdır. HDPE (yüksek yoğunluklu PE), MDPE (orta yoğunluklu PE), LDPE (düşük yoğunluklu

PE) gibi veya çapraz bağlı, lineer bağlı oluşmuş tipleri de vardır. Özellikler tiplere göre değişse de; dış ortam koşulları ve neme karşı iyi direnç, esneklik, zayıf mekaniksel kuvvet ve üstün kimyasal direnç genel özellikleri olarak sayılabilir. Kaplar, kutular, mutfak eşyaları, kaplamalar, boru ve tüp, oyuncak, kablolarda yalıtkan tabakalar, paketleme ve ambalaj filmi gibi çok yaygın bir kullanım alanı vardır (Wikipedia, 2007). Polietilenin (UHMW-PE1000, HD-PE500, HD-PE300 tiplerinden en küçük ve büyük değerleri dikkate alınarak) fiziksel özelliklerinden bazıları; özgül ağırlığı $0.93-0.95 \text{ g/cm}^3$, ergime noktası $125-133^\circ\text{C}$, çekme dayanımı $20-25 \text{ N/mm}^2$, çekme uzaması % 12-20, kopma dayanımı $36-40 \text{ N/mm}^2$, kopma uzaması % 350-500, elastisite modülü $600-1000 \text{ N/mm}^2$, Shore-skala D 60-70, şeklindedir (Yılmaz Tic., 2007).

Ortez malzemesi olarak daha seyrek kullanılan diğer malzeme ise polipropilen'dir. Mühendislik plastiklerinden, termoplastik işleme proseslerine uygun olup erime sıcaklığı 160°C civarındadır. Polipropilenin bazı fiziksel özellikleri; yoğunluk $0.93-0.94 \text{ g/cm}^3$, kırılmada çekme %'si 70, bükülmede elastisite modülü 1200 N/mm^2 'dir (Yılmaz Tic., 2007; Wikipedia, 2007).

Polietilen üretiminde önemli bir paya sahip olan Petkim ürünlerinde ise farklı amaçlar için geliştirilmiş birçok ürün çeşidi bulunmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen için küçük ve büyük değer olarak bazı özellikler; ergime sıcaklığı 190°C , yoğunluk $0.952-0.970 \text{ g/cm}^3$, akma dayanımı 220 kg/cm^2 , kopma dayanımı 375 kg/cm^2 , kopmada % uzama 750-1250, bükülme dayanımı $7160-10450 \text{ kg/cm}^2$, izod darbe dayanımı $5-60 \text{ kgcm/cm}$ olarak verilmiştir. Alçak yoğunluklu polietilen için ise; ergime sıcaklığı 190°C , yoğunluk ise $0.918-0.923 \text{ kg/cm}^3$ 'dür. Dikkate alınan standartlar ise ASTM-D olmak üzere; erime akış hızı 1238, yoğunluk tayini 1505, akma ve kopma dayanımı ile kopma % uzaması 638, bükülme dayanımı 747 ve izod darbe dayanımı 256'dır (Petkim, 2007).

Çalışmada modelleme için SolidWorks (CAD) ve analiz için ise CosmosWorks (CAE) yazılımlarından yararlanıldı (Tekyaz, 2007).

Isı çalışma standı; üzerinde işlem gören polietilen numunenin yer aldığı 1mm kalınlığındaki saç malzeme, altından pürmüz alevinin uygulanabilmesi ve çalışma anında alevin kullanıcıya zarar vermemesi için biçimlendirilmiş bir yapıdır. Polietilen numunenin belirli bir sıcaklığa ulaşmasından sonra, baskı kuvvetini rahat uygulayabilmek ve bu şekilde oda sıcaklığında soğumaya bırakılacağı, düz saç parçalarıyla birlikte ağızları düz bir tesviyeci mensesi saç tabla üzerine monte edildi. Polietilenin ısıtılması anında oluşan gaz çıkışının zarar vermemesi düşüncesiyle, saç ve mengene üzerinden ortamdaki zararlı gazı emerek dış ortama atmak için, "saç çerçeve, fan ve atık borusu" elemanları birleşimiyle oluşturulmuş aspirasyon kısmı, sisteme ilave edildi. Çalışmada ısı kaynağı olarak LPG propan gazı ve alevi yönlendirmek için de pürmüz kullanıldı.

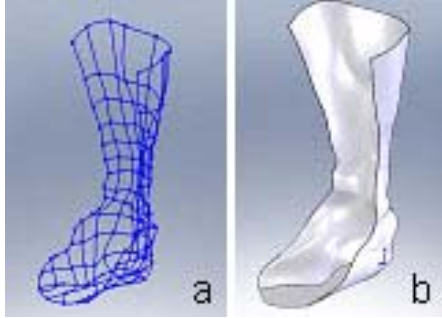
Isıtma, birleşim, soğuma safhalarında polietilendeki önemli sıcaklık değişimlerinin tespitinde ölçümlerin tümü; Raytek PM Plus, cihazı ile yapıldı. Cihaz özellikleri; çıkış $<1\text{Mw}$, dalga uzunluğu 630-670 nm, Class 2 Laser Product Per Iec 825/93. Deney numunelerinin hazırlanması ve ısı işlem esnasında; falçata, çelik cetvel, spatula, maşa, koruyucu eldiven, gözlük ve maske, gerekli olduğu yerlerde kullanılan yardımcı aparatlardır. Çalışmada iç yapı görüntüleri, Olympus/GX41F (Olympus Co. Tokyo/Japan), 5x/10x/20x/50x büyütme optik mikroskop ile alındı. Standarda uygun hazırlanan numunelerin çekme deneyleri, tadilat sonucu loadcell ve dijital gösterge ilaveleriyle geliştirilmiş ALŞA, 20 ton kapasiteli çekme deney cihazında yapıldı.

AFO ortezin modellenmesi ve analizi

AFO ortez'in kullanım başlangıcından itibaren geçen belirli sürede, bilek kısmı kenarlarından başlayıp ilerleyen hasar oluşum mekanizmasının anlaşılabilmesi hedeflenmiştir.

Bunun için kullanılmış ve hasar oluşmuş AFO ortez üzerinden tüm detayları ve olabildiğince gerçek şekil görüntüsünün elde edilebilmesi için, düğüm noktaları halinde ölçüler alındı. Ölçümlerde aralıklar dışında katı modele de esas

olacak kalınlık değeri olarak, AFO ortez üzerinde ölçüm yerlerinde küçük farklılıklar görülse de ortalama olarak 3.5mm olduğu belirlendi. Alınmış ölçüler SolidWorks yazılımına 3D olarak aktarılarak önce tel kafes (Şekil 2a) yapı ve devamında AFO ortezin katı modeli oluşturuldu (Şekil 2b).



Şekil 2. Afo ortezin tel kafes (a) ve katı modellenmesi (b)

AFO ortez’de hasarın başlangıcı, gelişimi ve kullanılamaz hale gelinceye kadarki aşamalarının, hangi yük değerlerinde oluşacağı önemlidir. Yük değer aralıklarının belirlenebilmesi için, tasarlanmış modelin CosmosWorks yazılımında analizi yapıldı. AFO ortez üzerinde günlük kullanımla zamana bağlı belirginleşen hasar oluşum noktaları, tasarım ve analiz sonunda simülasyon olarak da benzer şekilde aynı bölgelerde elde edilebilmiştir. Gerçek şartların etkisini her ne kadar birebir tasarım ve devamında analizde elde etmek mümkün olmasa da hasarın aynı bölgede oluşması sonucunun, çalışmada uygulanan modelleme ve analiz yaklaşımının yeterli olduğu, durumu açıklayabileceği söylenebilir.

Ortez’i taşıyan kişi ağırlığının yarısı, iki ayakta her bir ortez’e etkisi 40daN yük olarak uygulandı. Yüklemede model taban kısmı sabitlendi. Yere basma ve yürümede adım hareketlerinin modele doğru şekilde uygulanabilmesi için iki şekilde düşünüldü; birincisi yukarıdan yük etkisi hali, ikincisi ise aynı anda yukarıdan ve ortez yüzeyinde yayılı yük etkileri olarak uygulamadır. Ayakta hareketsiz duruş, düz zeminde yürüme, eğimli yüzeye çıkma veya iniş, merdiven çıkışı veya inişi gibi haller günlük yaşamda ortez’in maruz kaldığı yüklemelerdir. Özellikle eğik hareketlerde ortez’in ayağı kavrama etkisi-

nin kesintiye uğramaması için kullanımda diz altı seviyesinde, ortez üst kısmı bandaj bölgesinde rijit bir tutunmayla, ortez ayak bilek bölgesinden mafsallıymışçasına belirli açılarda öne veya geriye doğru hareketler yapmaktadır. Bu durumda polietilen ortez malzeme tam değişken zorlanma sonucu çeki-bası etkisiyle en büyük zorlanmaya maruz kalmaktadır. Bu etkilerle ortez’in bilek bölgesinin aşırı yüklemeye mazur kaldığı ve Şekil 1a ve Şekil 1b’de görülen hasarların nedeninin de bu olduğu söylenebilir. Polietilen malzeme yapısına uygun olarak poisson oranı, elastisite modülü ve analiz için gerekli diğer özellikler, yazılım kataloğunda tanımlandığından, bu değerler seçilerek uygulanmıştır. Polietilen olarak düşük ve orta yoğunluklu malzeme kullanılmıştır. Katı modelin analizinde yukarıda açıklanmış yaklaşım sonucu; bandaj kısmından yük etkisinde iken aynı anda diz altından bileğe kadar ve ayağın temasta olduğu yüzeylerde yayılı yük uygulamasıyla, statik analiz olarak çalışılmıştır. Malzeme ayakta kullanımda iken, mevcut şeklini ve malzeme yapısını aşırı zorlayacak yönde etkilere maruz olmayacağı ve limitleri içerisinde kalacağı düşünüldü; “lineer elastik izotropik model tipi” için SI birim sisteminde; elastisite modülü: 172000000 N/m², poisson oranı 0.439, kayma modülü 59400000 N/m², yoğunluk 917 kg/m³, çekme dayanımı 13270000 N/m² değerleri kullanılmıştır. Analiz sonuçları en büyük-en küçük değerler olarak, gerilme ve yer değişimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Katı model AFO ortez’in analiz sonuçları

AFO Ortez statik analiz	Yer değişimleri	Gerilme (N/m ²)
En küçük değer	7.503×10^{-9}	1.585×10^{-6}
En büyük değer	1.174×10^{-1}	3.136×10^7

Gerçek yaşam ve katı model analiz sonuçları, AFO ortez ‘de öncelikle hasar oluşan bölgenin ayak topuk üst kısmı bilek bölgesi olduğunu göstermektedir. Buradan hareketle gerilme değeri olarak ayak bileği bölgesinde daralan kesitte yaklaşık 7 N/mm² değeri ile deformasyon oluşumunun başlayacağı, 21 N/mm² ve üzerin-

deki değerlerde ise tamamen hasarın geri dönüşüme halde belirginleşeceği söylenebilir.

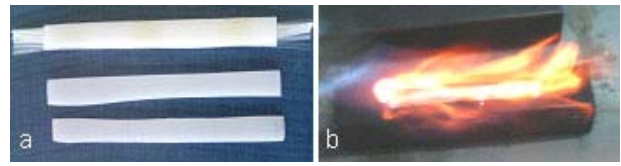
Deneysel çalışma

Ortez malzemesi olarak kullanılan polietilenin mekanik, fiziksel, kimyasal vd özellikleriyle ilgili literatür değerleri bilinmektedir. Pratik laboratuvar çalışmaları için, düşünülen tasarıma esas olabilecek hazırlanmış numuneler ile yapı oluşumunda ısıtma işlemi, çekme deneyleri ve farklı parçalardan oluşmuş yapının optik mikroskop içyapı görüntüleri alındı. Ortez'in hasara uğramış kısmına takviye elemanı konulması ve öncelikle yine aynı bölgede yüklemelerin yoğunluğu nedeniyle çatlak oluşumu, devamında kullanılamaz hale gelmesinin geciktirilmesi ve yapının daha rijit bir malzeme olarak işlevini sürdürebilmesinin incelenmesi hedeflendi. Halen uygulanmakta olan teknikte ortez şekillendirilmesi ve devamında kullanımıyla ayağa iyice alışmış olmaktadır, bu nedenle kişi için kullanımı oldukça rahat olduğundan atık hale gelmemesi daha da önem kazanmaktadır. Ülkemizde üretiliyor olsa da pratikte daha çok tercih edilen ithal polietilen olması nedeniyle, dışa bağımlı bir malzemenin kullanım süresi de uzatılacağından, ekonomiye katkısı olacağı da söylenebilir.

Polietilen malzemenin yapısı, imalatındaki teknoloji, granül halden tabaka haline gelişi, tabakadan ortez haline gelmesindeki aşamalar ve ortez oluşumunda uygulanan teknik çok farklı sonuçların oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 1a ve b'de görülen her iki polietilen AFO ortez'de, aynı ayak kalıbıyla, aynı atölyede, aynı teknisyen tarafından şekillendirilerek üretilmiştir.

Polietilen malzeme ile ilgili, literatür incelemesi ve yapılmış çalışmalarda sonuçlar dikkate alınarak, ortez'de hasarın onarımına yönelik bir dizi uygulama tasarlanmıştır. Öncelikle, kullanımda hasar oluşmuş Polietilen AFO ortez üzerinden alınmış ve "modelleme-analiz çalışması"nda da kullanılan" ölçüler esas alınarak, deneylerde kullanılan numune boyutlarının standart ölçüleri belirlemesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda numune ölçü kalınlığı 3.5mm olarak be-

lirildi. Çalışmada 3.5mm kalınlığındaki ince levha için çekme deney numunesi ölçüleri dik-kate alınmıştır. Buna göre diğer boyutlar; numune genişliği 15mm, baş kısmın genişliği 20mm, baş kısmın uzunluğu 50mm, ilk ölçü uzunluğu 40mm, daraltılmış kısmın uzunluğu 55mm ve toplam uzunluk 165mm alınmıştır (Kayalı vd., 1978). Aşama I olarak; polietilen malzemenin iki ayrı tabaka halinde iken takviyesiz ve elyaf lif takviyeli halde olmak üzere ısıtma işlemi uygulamasıyla birleştirilebilirliği (Şekil 3a) ve ısıtma işlemi için direkt polietilen malzeme üzerine alev yönlendirilmesi (Şekil 3b) çalışıldı.



Şekil 3. Polietilen lifli, lifsiz numuneler(a) ve direkt alev uygulaması (b)

Numunelerin birleştirilmiş yekpare bir parça haline getirilmesi, kıyaslama yapabilmek düşüncesiyle aynı ölçülerde bir sac metal malzemenin de hazırlanarak polietilen numunelerle birlikte çekme deneylerinin yapılması. Kullanılan elyaf lif ve çekme deneyi sonrası numunelerin durumu Şekil 4a,b'de ve sonuçları kıyaslamalı olarak Tablo 2'de verilmiştir. Şekilde 4b'de L lifli, NL lifsiz ve S simgeleri sac malzemeyi tanımlamaktadır. Aşamalardaki lifsiz, lifli, sac numuneler için deney öncesi ve deney sonrası, çekme dayanımı ve % uzama hesaplaması için gerekli ölçümler, 1/20 hassasiyetli kumpas ile yapılmıştır.



Şekil 4. Çekme deneyi sonrası Polietilen lifli ve lifsiz ile sac malzeme

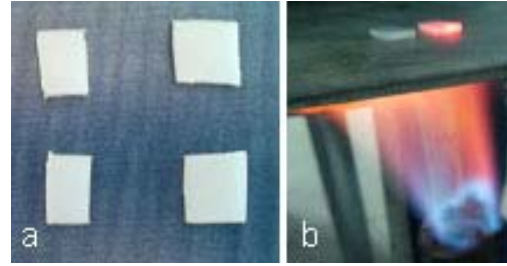
Aşama II 'de, alevin numuneye temas etmediği endirekt ısı uygulamasının etkileri incelenerek, direkt ısıtmaya göre farklılıkları görülmeye çalışıldı.

şıldı. Uygulama olarak; sekiz adet polietilen tabaka ikişerli, gerekli ergime sıcaklığına kadar ısıtılıp birleştirilerek dört adet numune elde edildi (Şekil 5a). Isıtma işlemi sırasında iki tabaka arasına lif konuldu. Elyaf lif takviyeli ve lifsiz malzemelerin endirekt (alttan, alev temasız, Şekil 5b) ve direkt (üstten, alev temaslı) ısıtılmasıyla birleşim işleminde sıcaklık değerleri, her 5sn'de yapılan ölçümlerle belirlendi. Birleşim işleminin başlangıcından sonuna değin toplam işlem uygulama süreleri de tespit edildi. Aşama II 'de ısı etkisindeyken birleşim anında sıcaklık değerleri ve uygulama süreleri belirlendi (Tablo 3). Tabloda soğuma safhası ortadaki sıcaklık değerleri, toplam süre sonunda numuneden alınmış son ölçüm değerleridir ve bu noktadan sonra numuneler baskı altında iken oda sıcaklığında soğumaya bırakılmışlardır. Devamında numuneler optik mikroskop içyapı incelemesi için, ortadan (lif doğrultularına dik şekilde) ikiye ayrılmışlardır (Şekil 6).

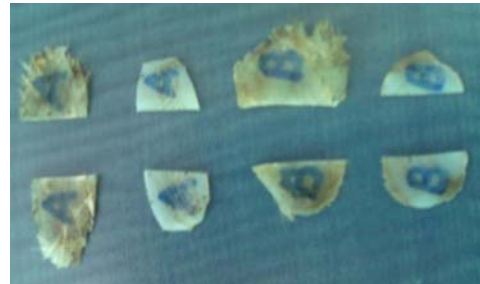
Aşama II 'de endirekt ısı uygulamasıyla lifli ve lifsiz birleşebilirlik, birleşimin direkt ısıtmayla farklılıkları, elde edilmiş numunelerin içyapı görüntülerinde farklı tabakalardan hazırlanarak oluşturulmuş yapılarda katmanların belirli olup olmadığının incelenmesi hedeflendi. Bu aşamada çekme deneyleri düşünülmendiğinden, numunelerin içyapı gözlemini yapabilecek en küçük boyutlarda olması yeterli görüldü. Görüntüleme için, lif yatırma yönleri dik kesit yüzeyleri kullanılmıştır. İçyapı görüntüleri, yoğun-30gr elyaf lif takviyeli Şekil 7'de ve lif miktarının düşürüldüğü azaltılmış-15gr yapı, Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 2. Aşama I'de çekme deney sonuçları

Çekme dayanımları, (N/mm ²)	
$\sigma_S > \sigma_L > \sigma_{NL}$	338.62 > 11.11 > 8.89
Akma dayanımları, (N/mm ²)	
$\sigma_L > \sigma_{NL}$	7.78 > 6.67
% Uzamalar	
$\varepsilon_L > \varepsilon_{NL} > \varepsilon_S$	149.26 > 74.58 > 7.12
% Kesit daralmaları	
$r_L > r_{NL} > r_S$	89.11 > 74.58 > 55.29



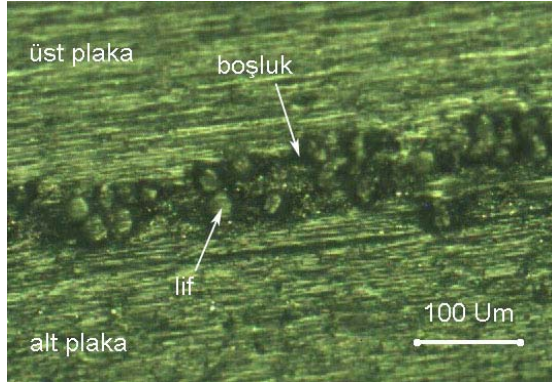
Şekil 5. Aşama II'de direkt ve endirekt ısıtmayla lifli, lifsiz birleştirilecek polietilen numuneler (a) ve alttan alev temasız ısıtma (b)



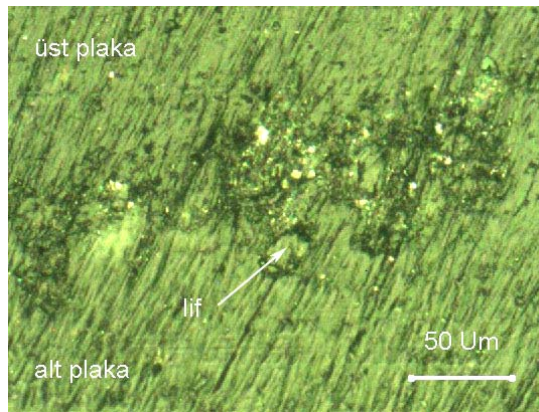
Şekil 6. Direkt (B) ve endirekt (A) ısıtılmalı lifli ve lifsiz Polietilen numuneler

Tablo 3. Aşama II'de birleşim anında ısı uygulamada sıcaklık değerleri ve uygulama süreleri

İşlem Aşamaları	Polietilen numuneler (değerler °C)			
	Direkt ısı-lifsiz	Direkt ısı-lifli	Endirekt ısı-lifsiz	Endirekt ısı-lifli
Isınma	O.Sıc.-190	O.Sıc.-190	O.Sıc.-190	O.Sıc.-190
Şeffaflaşma	190 - 240	190 - 240	190 - 240	190 - 250
Çalışma	240 -300-190	240-400-250	240-350-240	250-325-250
Baskı	190-140	250-140	240-60	250-50
Soğuma	140-55-O.Sıc.	140-44-O.Sıc.	60-45-O.Sıc.	50-42-O.Sıc.
Toplam süre	140sn	195sn	290sn	385sn



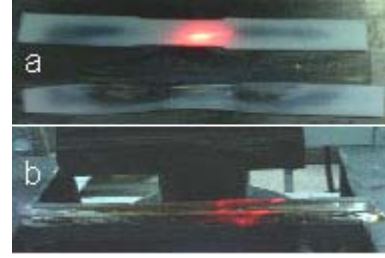
Şekil 7. Aşama II 'de direkt ısıtılmış yoğun lifli polietilen malzemede içyapı



Şekil 8. Aşama II'de endirekt ısıtılmış azaltılmış lifli polietilen malzemede içyapı

Aşama III nihai çalışmadır. Aşama I ve II'den edinilen bilgiler ışığında yoğun ve azaltılmış lifli ve lifsiz yapı, endirekt ısıtım ile hazırlanmış numunelerin, çekme deneyleri yapıldı ve içyapı görüntüleri alındı. Her bir numune için iki adet polietilen levha kullanılarak; yoğun ve azaltılmış elyaf lifli iki ve diğer ikisi ise lifsiz olmak üzere toplam dört adet numune hazırlandı. Şekil 9a'da bir deney numunesi oluşumunda mat beyaz olan polietilen levhanın endirekt ısı

etkisinde şeffaflaşmaya başlayan bölgeleri ve Şekil 9b'de ısı etkisi devamında arasında lif olan tam şeffaflaşmış iki tabakanın düz ağızlar arasında baskıya hazır hali görülmektedir.



Şekil 9. Polietilen malzemelerin ısı etkisinde şeffaflaşmaya başlaması (a) ve arada elyaf lifli şeffaf olduğu halde birleşim öncesi (b)

İşlemden, ısı uygulaması başlangıcı ve devamında yine her 5sn'de bir sıcaklıklar ölçüldü. Tablo 4'de çalışmada ısı uygulaması aşamalarında alınan sıcaklık değerleri ve süreleri verilmiştir. Burada da soğuma safhasında ortadaki sıcaklık değerleri, toplam sürede alınmış son ölçüm sıcaklığıdır ve bu nokta sonrası baskı altındaki numune oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Lifsiz numuneler İNL ve SNL, lifli numuneler ise İL (yoğun-30gr) ve SL (azaltılmış-15gr) olarak tanımlıdır. Çalışmada lif ağırlığından kastedilen, numune boyutları için verilmiş olan 165mm uzunluk, 15mm daraltılmış yüzey üzerine, uzunluğuna yatırılmış bulunan liflerdir. Aşama III için çekme deneyleri yapılmış numunelerin görüntüleri Şekil 10'da ve deney sonrası elde edilen kıyaslamalı dayanım sonuçları ise Tablo 5'de verilmiştir. Aşama III'de optik mikroskop içyapı çalışması için hazırlanmış numuneler Şekil 11'de, her ikisi de endirekt ısıtılmış yoğun lifli yapı, Şekil 12'de ve azaltılmış lifli içyapı görüntüleri ise Şekil 13'de verilmiştir.

Tablo 4. Aşama III 'de birleşim anında ısı uygulamada sıcaklık değerleri ve uygulama süreleri

İşlem aşamaları	Polietilen numuneler (endirekt ısıtmalı, değerler °C)			
	İlk lifsiz / İNL	İlk lifli / İL	Son lifsiz / SNL	Son lifli / SL
Isınma	O.Sic.-200	O.Sic.-190	O.Sic.-190	O.Sic.-170
Şeffaflaşma	200-230	190-260	190-230	170-240
Çalışma	230-130	260-180	230-170	240-270
Baskı	130-100	180-120	170-120	270-120
Soğuma	100-43-O.Sic.	120-45-O.Sic.	120-44-O.Sic.	120-39-O.Sic.
Toplam süre	535sn	1225sn	805sn	1165sn



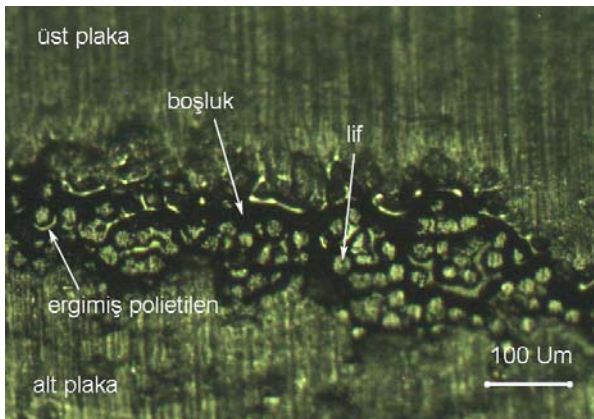
Şekil 10. Çekme deneyleri sonunda kopmuş numuneler

Tablo 5. Aşama III 'de çekme deney sonuçları

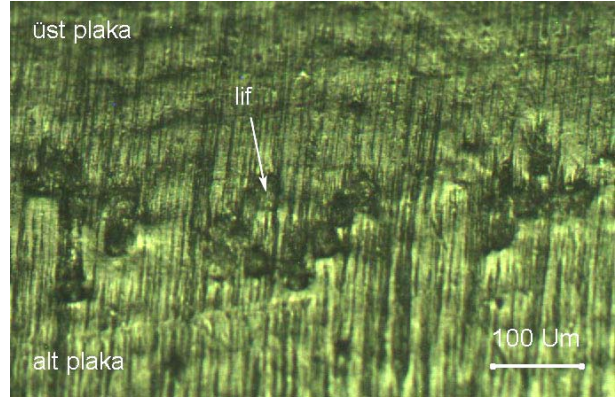
Çekme dayanımları, (N/mm ²)
$\sigma_{SL} > \sigma_{IL} > \sigma_{SNL} > \sigma_{INL}$
26.33 > 19.92 > 18.32 > 13.60
Akma dayanımları, (N/mm ²)
$\sigma_{IL} > \sigma_{SNL} > \sigma_{SL} > \sigma_{INL}$
13.22 > 11.18 > 10.37 > 9.86
% Uzamalar
$\varepsilon_{INL} > \varepsilon_{IL} > \varepsilon_{SNL} > \varepsilon_{SL}$
201.63 > 160.60 > 116.32 > 37.85
% Kesit daralmaları
$r_{INL} > r_{SL} > r_{SNL} > r_{IL}$
90.02 > 89.45 > 85.16 > 77.98



Şekil 11. Endirekt ısıtılmış lifli ve lifsiz optik mikroskop içyapı görüntülemesine hazır numuneler



Şekil 12. Aşama III 'de endirekt ısıtılmış yoğun lifli numunede içyapı



Şekil 13. Aşama III'de endirekt ısıtılmış azaltılmış lifli numunede içyapı

Sonuçlar

I. Aşama çekme deney sonuçlarında, aynı boyutlardaki numunelerden yapısı gereği saç malzeme çekme dayanımının en büyük çekme dayanımı değerine sahip olduğu belirlendi. Devamında polietilen malzemelerden lif takviyeli olan ve lifsiz şeklinde sıralanmışlardır. Polietilen malzemelerde en büyük akma dayanımı ise lifli malzeme ve lifsiz malzeme olarak elde edildi. Uzama % değerleri, lifli malzeme, lifsiz malzeme ve saç şeklinde sıralıdır, % kesit daralmaları ise lifli malzeme, lifsiz malzeme ve saç olarak sıralanmıştır. Aşama I'deki çalışmalardan; öncelikle polietilen malzemenin ısıtılmasında direkt alev uygulamasında başlangıçta malzemenin mat olan renginin giderek açılmaya başlaması ve bir süre sonra tamamen şeffaf olduğu ve bu halde direkt alevle ısıtmaya devam edilirse malzemenin yanmaya başladığı gözlenmiştir. Bu halde iki polietilen tabaka lifli ve lifsiz birleştirilme anında şeffaf halinin uzun süre kalabilmesi zordur, "matlık-şeffaflık-yanma" arasında ciddi kontrollü sıcaklık uygulaması gerektiği görülmüştür. Edinilen tecrübeye polietilen lif takviyeli ve lifsiz halde birleşim sağlanabilmiştir. Her iki tabaka şeffaflaştığında lifli halde iken lifler araya uzunluk doğrultusunda yerleştirilerek, lifsiz halde ise direkt iki plaka üst üste getirilerek bu anda üzerlerine bir baskı kuvveti uygulanması neticesi birleştirilebilmektedirler. Aşama I bir ön çalışmadır ve ısıtılma işlemi uygulanarak malzemelerin takviyeli veya takviyesiz birleştirilebileceğini göstermesine rağmen, direkt alev uygulaması yerine farklı bir ısı uygu-

laması arayışının daha uygun olacağı sonucunu vermiştir.

II. Aşamada; direkt ısıtmada pürmüz alevi etkisinde iken numunelerin sıcaklıklarının tespiti çok zordur. Isıtma sürerken malzeme sıcaklık değerini alabilmek için alevin uzaklaştırılması durumunda sıcaklık düşmektedir. Bu halde ısıtma-ölçüm aralıklarında sıcaklık-zaman ilişkisinde değerler o anı yansıtmayan değişimler göstermektedir. Direkt ısıtmada değişimler arasında geçiş zamanları çok kısa olduğunda, uygulamada hız ve konsantrasyon sağlanamadığında, malzemeye uygulanacak bir çok işlemin yapılabilmesi mümkün olamamaktadır. Pürmüz alevinin belirli seviyelerdeki etkileri de, sıcaklık değerlerini oldukça değiştirmektedir. Süre aralıklarının belirlenmesi, uygulamanın en iyi şekilde yapılabilmesi adına oldukça önemlidir. Aşama II 'deki çalışmalardan; çok katmanlı yapı oluşturulmasında olumsuz bulunan elemanların yerleşimi için gereken sürenin, endirekt ısıtmada daha yeterli olması önemlidir. Özellikle yoğun lifli olan yapılarda, lif aralarını polietilen malzemenin tam olarak saramadığı ve boşluklar olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde azaltılmış uygulamayla lifler daha iyi sarılabilmekte ve olabildiğince boşluksuz bir yapı oluşabilmektedir. Şekil 13'de endirekt ısı etkili içyapı görüntüsünde liflerin olduğu ortadaki yatay hat iki malzemenin birleşim yeri olup burada ve lifsiz olan diğer bölgelerde de farklı bir tabakalaşma olmadan birleşimin sağlanabildiği görülmektedir. Direkt ısıtmada Tablo 4 süreleri üzerine çıkılarak, tekrarlı ısıtma ve tekrarlı baskı uygulama çalışmasıyla (malzeme şeffaflık üst sınır sıcaklığında kalınarak ve çok zor olmakla birlikte alev alarak malzeme kaybı olmasına izin vermeden uygulanabilirse) yoğun lifli yapıda dahi boşluklu yapı oluşumu en aza indirilebilmektedir. Fakat bu işlem gereksizdir ve lif takviyesi yapılacak ana malzeme bölgesi ve lif takviye malzemesinin belirli bir oranda olması gerektiği görülmüştür.

III. Aşama çekme deney sonuçlarında, lif oranı 0.15 gr olan yapı oluşumu 0.30 gr olana nazaran daha yüksek çekme dayanımı sonucu vermiştir. Akma dayanımları yoğun ve az lifli olarak yakın

değerlerde sıralanmış, % uzamalarda lifsiz, lifli olarak ve % kesit daralmalarında ise lifsiz ve az lifli olarak sıralanmıştır. Şekil 12'de görüldüğü üzere yoğun lif takviyeli halde, lif kullanımındaki aşırılık polietilenin ergimiş halde tamamen tüm lifleri sarma ihtimalini zayıflatmış, ergimiş halde akabildiği kadarıyla lifleri sarabilmiş, soğuma neticesi ise birçok lif sarılamadan içyapıda (hata kaynağı olarak) boşluklarla şekillenmiştir. Şekil 13'de ise yapıda kullanılan azaltılarak lif serilmesi uygulamasında, tüm lif çevrelerinin kaplanabildiği, dolayısıyla istenilen takviyenin tam anlamıyla yapılabilirdiği ve iyi bir birleşim olduğu görülmektedir. Şekil 13'de lif olmayan bölgelerde de yapı tek bir malzeme halinde olup, farklı iki tabaka birleşiminde ayrı bir yapı veya katman belirtisi görünmemektedir.

Çalışma; endirekt ısıtma, sıcaklığı 210-230°C şeffaflık aralığında, lifsiz veya lifli polietilen tabakaların, kuvvet etkisiyle şekillendirilerek birleştirilebileceğini göstermiştir. Çekme deneylerinde elyaf lifli yapılar gevrek malzemeye benzer kopma eğiliminde iken, lifsiz yapılar yüksek akma değerli sünek malzeme kopma özellikleri sergilemişlerdir. Deneysel çalışmalarda edinilen bilgilerle; onarılmış hasarlı polietilen ortezi kişinin günlük yaşamında kullanmasının değerlendirilmesi, ilave olarak eğilme, bası ve yorulma deneyleri yapılabilmesi, ortez modelin bir yorulma analiz yazılımıyla incelenebilmesi, çalışmanın devamı niteliğindeki araştırmalar olabilir. Bu sayede ortezin onarımı ve devamında kullanılabilirliğiyle ilgili daha iyi değerlendirmeler yapılabilir.

Kaynaklar

- Akkurt S., (1991). *Plastik Malzeme Bilgisi*, Birsan Yayınevi, S.7, İstanbul.
- Artar Y., Karabacakoğlu Ç., (2003). *Ortez ve Tekerlekli Sandalyenin Üretimi, Standartları ve Pazar Potansiyeli, Özürlülerin Toplumsal Gelişimine Yönelik Proje*, MPM Danışmanlık Bölümü, Milli Produktivite Merkezi, Aralık, Ankara.
- Atala E., (1996). *Çevre Tasarımı ve Normların Bedensel Engelliler Açısından Değerlendirilmesi Üzerine Teorik Bir Yaklaşım, Sanatta Yeterlilik Eseri Raporu*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Baykoç D, N., Yılmaz B., (1999). *I. Özürlüler Şurası, Çağdaş Toplum Yaşam ve Özürlüler, Komis-*

- yon Raporları Genel Kurul Görüşmeleri, T.C. Başbakanlık Özürlüler İdaresi Başkanlığı, Ankara.
- Berker, N., Yalçın, S., (2000). Serebral Palsi Tedavi ve Rehabilitasyon, *Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Pediatrik Ortopedi ve Rehabilitasyon Dizisi*, Kitap 3, İstanbul.
- Çağlar D., (1982). Ortopedik Özürlü Çocuklar ve Eğitimleri, 2. Basım, *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Yayınları*, No:115, Ankara.
- Çetinel H., (2000). Polietilen ve Polipropilen'in Mekanik Özelliklerinin İncelemesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2, 3, S. 79-87, Ekim.
- Erkan G., (1990). Ortopedik Özürlü Çocukların Kendini Kabul Düzeyi Üzerine Bir Araştırma, *Sakatlari Koruma Milli Koordinasyon Kurulu, Tekel Ambalaj Müdürlüğü*, İstanbul.
- Erkesim, R., (1999). Özürlüye Uygun Açık Alan Tasarımı ve Kullanımlarının Değerlendirilmesi ve İstanbul Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Mutluer S.Y., (1997). Tekerlekli Sandalye Kullanan Bedensel Özürlüler İçin Uygun Konut Tasarımı ve Çevre Düzenlemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Özkeskin, M., (2000). Bedensel Özürlülerin Ev Ortamının Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, 9 Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kadir K., (2007). Afo Ortez Kullanıcısı İle Görüşme, Balıkesir.
- Karahan, B., (1998). Planlama ve Tasarımda Engellilere Duyarlı Fiziki ve Sosyal Çevrelerin Düzenlenmesine Yönelik Çözüm Önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, 9 Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kayalı S. E., Ensari C. Dikeç F., (1978). *Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri*, İTÜ Metalürji ve Malzeme Bölümü, Eylül, İstanbul.
-
- Pektim, Petrol ve Petrokimya Holding A.Ş., (2007), Polietilen ve polipropilen, <http://www.petkim.com.tr> (18.11.2007)
- Tekyaz, Teknolojik Yazılımlar ve Mak. Tic. A.Ş., (2007), Solidworks ve Cosmosworks yazılımlar, <http://www.tekyaz.com> (18.11.2007)
- Yılmaz Tic. Plastik ve Dök. San., (2007), Polietilen ve polipropilen, <http://www.yilmaz-ticaret.com/> (18.11.2007)
- Wikipedia, (2007), Polietilen ve polipropilen, http://tr.wikipedia.org/wiki/Ana_Sayfa (18.11.2007)